

УДК 621. 643.2; 624.13; 620.17 (088.8)

В.К. Передерей, викл.

*Кировоградский национальный технический университет*

## Теоретический анализ эффективности применения газозвдушной смазки в самодвижущихся пневмопробойниках

В статье описана конструкция и принцип действия самодвижущегося пневмопробойника. Говорится о возможности для снижения сил сопротивления грунта проколу пневмопробойником применения газозвдушной смазки.

Приводятся результаты теоретических исследований зависимости сопротивлений грунта проколу пневмопробойником и коэффициента снижения сопротивления грунта от длины цилиндрической части и диаметра корпуса пневмопробойника, коэффициента внешнего трения грунта о поверхность механизма при разных способах подачи газозвдушной смазки в зону трения с грунтом.

**самодвижущийся пневмопробойник, сопротивление грунта, газозвдушная смазка, коэффициент снижения сопротивления грунта проколу, коэффициент внешнего трения**

Строительные организации выполняют значительные объемы работ по устройству инженерных коммуникаций различного назначения – водопроводов, газо-, нефте-, тепловодов, канализации, дренажных линий и электрических кабелей. Их стоимость составляет значительную часть от общей стоимости объектов, а трудовые затраты иногда приближаются к тем, которые необходимы при возведении самого здания.

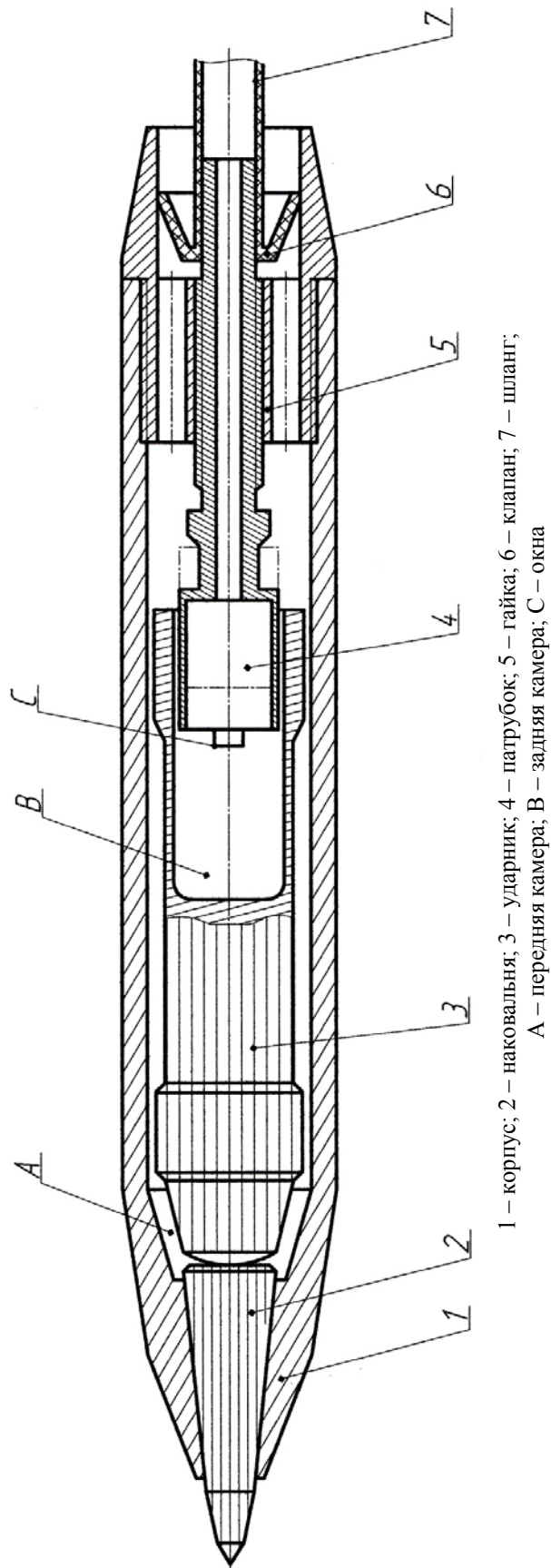
Наиболее трудоемкие и дорогостоящие работы по устройству переходов под городскими улицами, площадями и отдельными зданиями и сооружениями, железнодорожными путями и автомобильными магистралями. Эти работы могут быть выполнены традиционным открытым траншейным и закрытым бестраншейным способами.

В настоящее время на стройках преобладает первый способ, которым выполняют до 98% всего объема работ по прокладке коммуникаций. В городских условиях применение открытого способа вызывает увеличение стоимости работ более чем в 1,5...2 раза из-за необходимости прокладывать коммуникации не по кратчайшему расстоянию, а там, где это возможно, дополнительные расходы на разрушение и восстановление дорожных покрытий увеличивают стоимость почти на 60% [1]. Дезорганизуется движение городского транспорта и пропускная способность дорог, ухудшается санитарное состояние улиц и безопасность движения, уничтожаются зеленые насаждения.

Закрытый бестраншейный способ проходки скважин под инженерные коммуникации лишен многих недостатков, характерных для открытого способа, позволяет уменьшить до 80% объем земляных работ. Наиболее перспективным средством механизации работ при бестраншейном способе прокладки коммуникаций являются самодвижущиеся пневмопробойники конструкции Института горного дела Сибирского отделения РАН (ИГД СО РАН) [2], основное технологическое назначение которых – пробивание горизонтальных и наклонных сквозных и глухих скважин в грунте.

Пневмопробойник (рис. 1) состоит из корпуса 1 с наковальней 2 в передней его части. Внутри корпуса расположен массивный ударник 3 с полостью В в задней части, снабженной радиально выполненными окнами С. Передняя камера А образуется пространством между внутренними стенками передней части корпуса и ударником. В заднюю камеру входит патрубок 4, укрепленный резьбовой частью в гайке 5. Гайка соединяется с

корпусом при помощи резьбы и имеет отверстия для выпуска в атмосферу отработанного воздуха.



1 – корпус; 2 – ударник; 3 – патрубок; 4 – гайка; 5 – клапан; 6 – шланг;

A – передняя камера; B – задняя камера; C – окна

Рисунок 1 – Схема пневмодобойника конструкции ИГД СО РАН

С внешней стороны отверстий расположен клапан 6, который свободно выпускает воздух из пробойника и закрывает выходные отверстия при падении давления внутри него. Патрубок соединен со шлангом 7, по которому поступает сжатый воздух от компрессора.

Нагнетаемый от компрессора сжатый воздух, проходя по патрубку, поступает в заднюю камеру и, давя на ударник, разгоняет его. Двигаясь вперед, ударник ударяет по наковальне, внедряя пневмопробойник в грунт.

Непосредственно перед ударом окна С в задней части ударника минуют торцы патрубка и оказываются открытыми для попадания воздуха в переднюю камеру. Вошедший в нее воздух заставляет ударник вернуться в прежнее положение. При этом в конце обратного хода окна С оказываются за расширенной частью патрубка и сообщают переднюю камеру с внутренней полостью пробойника, имеющей выход в атмосферу. Давление в передней камере падает, а поступающий из патрубка в заднюю камеру воздух снова разгоняет ударник вперед, одновременно отталкивая корпус пробойника назад, через патрубок. Под действием ударов ударника по наковальне пробойник движется вперед.

До начала работ по проходке скважины осуществляется геодезическая разбивка трассы коммуникации с закреплением ее на местности. В начале и конце проходки должны быть отрыты по краям дороги рабочие приямки: входной 1 (рис. 2), из которого производится пуск пневмопробойника 2, и приемный 3 – для его выхода из грунта.

В процессе проходки скважины на корпус пневмопробойника действуют силы сопротивления грунта  $R$  (рис. 3): силы лобового сопротивления  $R_{\text{л}}$ , приложенные к конической части корпуса, и силы внешнего трения, приложенные к боковой цилиндрической поверхности:

$$R = R_{\text{л}} + R_{\text{бок}} . \quad (1)$$

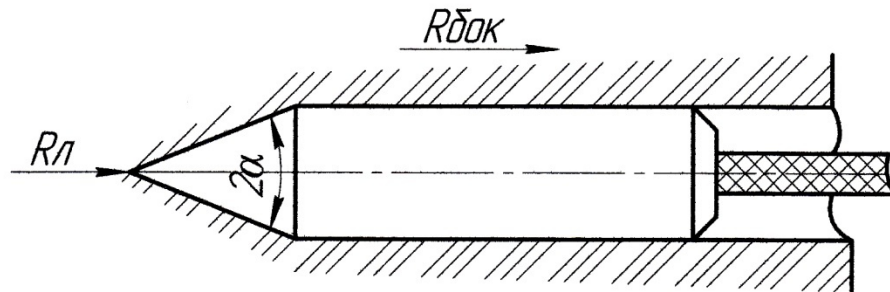


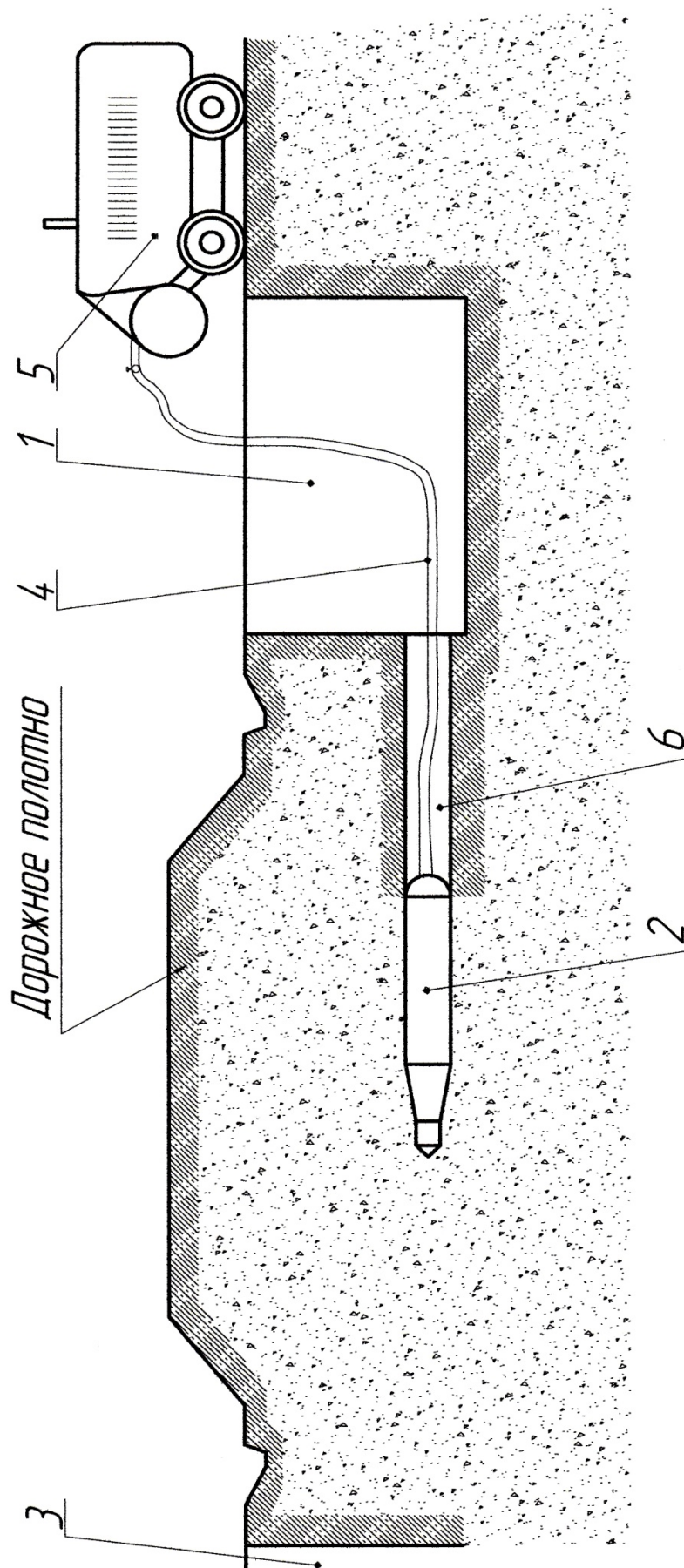
Рисунок 3 – Схема сил, действующих на пневмопробойник

Под действием этих сил скорость проходки скважины уменьшается. В общем балансе передаваемых сопротивлений силы трения составляют около 60 – 70%. Поэтому одно из важных направлений работ по повышению скорости проходки скважин пневмопробойником – снижение сил сопротивления его движению в грунте.

Одним из способов снижения сопротивления грунта проколу может быть газовоздушная смазка, когда в зону трения грунта с поверхностью корпуса пневмопробойника подается сжатый воздух. Применение газовой смазки было реализовано при интенсификации рабочих процессов землеройно-транспортных машин и дало существенный эффект [3,4].

Сопротивление грунта проколу пневмопробойником определяется по формуле [5]:

$$R = \pi \cdot r \sigma_{\text{ср}} \frac{p+r}{2r} \left[ K_{\text{ср}} \cdot r \cdot \frac{\text{tg}(\alpha+\varphi)}{\sin \alpha} + 2 \cdot L \cdot \text{tg} \varphi \right] , \quad (2)$$



1 - входной приемок; 2 - пневмобойник; 3 - приемный приемок; 4 - шланг; 5 - компрессор; 6 - скважина  
Рисунок 2 - Схема проходки скважины пневмобойником

где  $\sigma_{гр} = \gamma_{гр} \cdot H$  – естественное напряжение грунта на глубине проходки скважины  $H$ ;

$\gamma_{гр}$  – плотность грунта;

$\rho$  – радиус зоны деформации грунта;

$r$  – радиус корпуса пневмопробойника;

$\alpha$  – половина угла заострения конической части корпуса;

$\varphi$  – угол трения стали о грунт;

$L$  – длина цилиндрической части корпуса пневмопробойника;

$K_g$  – коэффициент динамичности.

По формуле (2) определим сопротивление грунта проколу пневмопробойником без подачи сжатого воздуха в зону трения с грунтом, с подачей сжатого воздуха по конической и цилиндрической части корпуса отдельно, считая, что трение устраняется полностью ( $\gamma = 1,71 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3$ ;  $\text{tg} \varphi = 0,5$ ;  $L = 1,5 \text{ м}$ ;  $\rho = 34 \text{ г}$ ; диаметр корпуса  $0,095 \text{ м}$ ;  $2\alpha = 30^\circ$ ;  $H = 2 \text{ м}$ ).

Эффективность применения газовой смазки будем оценивать коэффициентом снижения сопротивления грунта проколу:

$$m = R/R_b, \quad (3)$$

где  $R$  – усилие прокола грунта пневмопробойником без газовой смазки;

$R_b$  – усилие прокола с газовой смазкой;

Результаты расчетов представлены на графиках (рис. 4 – 6).

На рис. 4 показана зависимость  $R_b$  и  $m$  от  $L$  при подаче сжатого воздуха по конической части корпуса. Увеличение длины цилиндрической части корпуса пневмопробойника от  $0,50$  до  $1,5 \text{ м}$  приводит к росту силы сопротивления грунта от  $72,8$  и  $141,6 \text{ кН}$  до  $166,4$  и  $280 \text{ кН}$  по линейному закону, т. е. в  $2,3$  и  $1,98$  раза соответственно для диаметра корпуса  $0,095$  и  $0,15 \text{ м}$ . Коэффициент снижения сопротивления уменьшается по нелинейному закону соответственно от  $2,15$  и  $1,54$  до приблизительно  $1,15$ .

С увеличением коэффициента трения сила сопротивления грунта растет по линейному закону (рис. 5). При подаче сжатого воздуха по конической части корпуса и изменении  $\text{tg} \varphi$  от  $0$  до  $0,5$  сила сопротивления увеличивается с  $9,6$  до  $158 \text{ кН}$ , т. е. в  $16,45$  раза, и с  $30$  до  $161,5 \text{ кН}$ , т. е. в  $5,38$  раза, при подаче по цилиндрической части. Коэффициент снижения сопротивления уменьшается по нелинейному закону соответственно с  $18,6$  и  $5,46$  до  $1,24$  и  $1,12$  раза. Как видно из графика, значительное снижение сопротивления от подачи сжатого воздуха по конической части в сравнении с подачей по цилиндрической достигается при  $\text{tg} \varphi = 0,4$ , а при больших значениях эффект примерно одинаков.

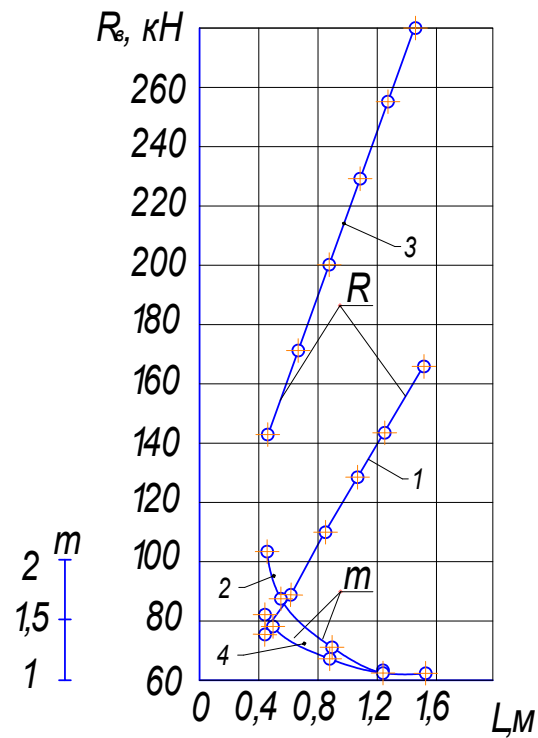
С увеличением диаметра пневмопробойника с  $0,063$  до  $0,15 \text{ м}$  сила сопротивления грунта проколу без газовой смазки увеличивается почти по линейному закону с  $105$  до  $280 \text{ кН}$ , т. е. в  $2,7$  раза (рис. 6).

При подаче сжатого воздуха по конической и цилиндрической частям корпуса с увеличением его диаметра сила сопротивления грунта возрастает по нелинейному закону с  $3,2$  и  $14,4 \text{ кН}$  до  $25,6$  и  $70,4 \text{ кН}$ , т. е. в  $8$  и  $4,9$  раза соответственно. Сила сопротивления грунта при подаче сжатого воздуха по конической части корпуса меньше, чем при подаче по цилиндрической части, в  $4,5$  и  $2,75$  раза соответственно для диаметров  $0,063$  и  $0,15 \text{ м}$ . С увеличением диаметра эта разница увеличивается.

Коэффициент снижения сопротивления грунта уменьшается по нелинейному закону с  $27$  и  $8$  раз до  $13,2$  и  $3,6$  раз для диаметров корпуса  $0,063$  и  $0,15 \text{ м}$  при подаче сжатого воздуха по конической и цилиндрической части корпуса соответственно.

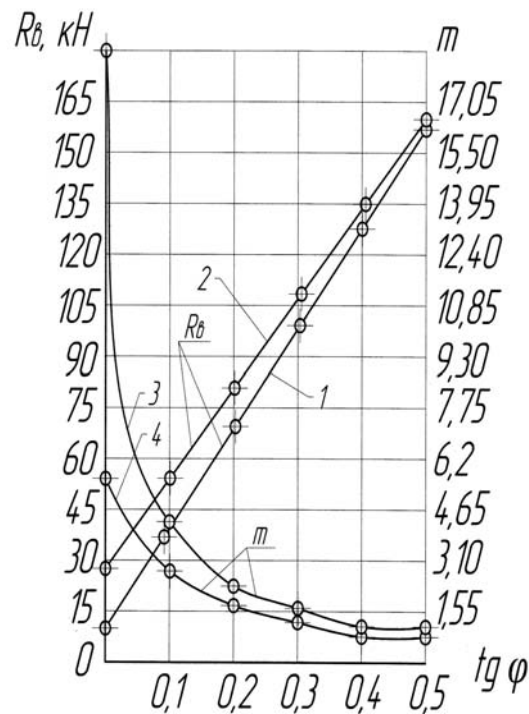
Результаты теоретических исследований показывают, что целесообразно применить эффект газовой смазки в самодвижущихся пневмопробойниках. Разработаны

конструкции пневмопробойников, на которые получены авторские свидетельства №№1099016, 1148944, 1630351. При разработке конструкций с газовоздушной смазкой



1,2 – диаметр корпуса 95 мм; 3,4 – диаметр корпуса 150 мм

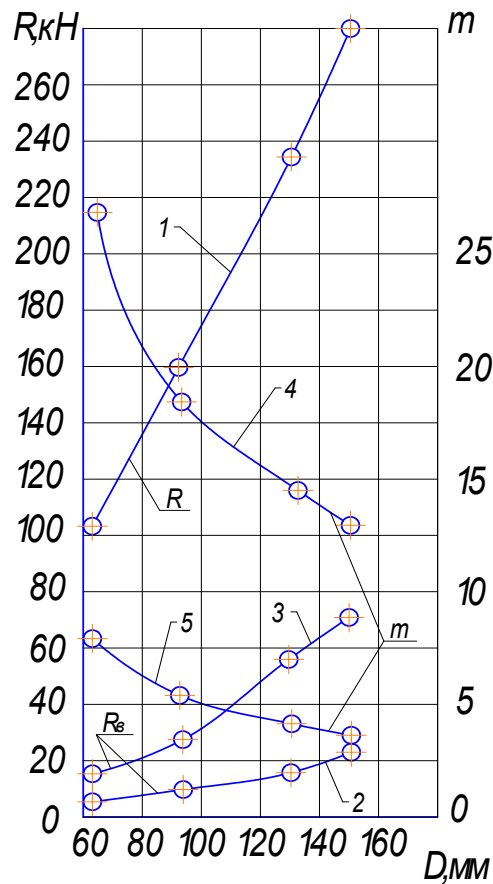
Рисунок 4 – Зависимость  $R_b$  и  $m$  от  $L$  при подаче сжатого воздуха по конической части корпуса



1,3 – по конической части корпуса; 2,4 – по цилиндрической части корпуса

Рисунок 5 – Зависимость  $R_b$  и  $m$  от  $\text{tg } \varphi$  при подаче сжатого воздуха





1 – без подачи сжатого воздуха; 2,4 – с подачей по конической части корпуса; 3,5 – с подачей по цилиндрической части корпуса

Рисунок 6 – Зависимость  $R_b$  и  $m$  от  $D$

учтена та особенность пневмопробойника, что его движение вперед с образованием скважины возможно при наличии сил трения  $R_{бок}$ , которые должны превышать реактивную силу отдачи  $R_{отд}$ , возникающую при разгоне ударника. При  $R_{бок} < R_{отд}$  движение пневмопробойника невозможно.

Поэтому подача сжатого воздуха в зону трения пневмопробойника с грунтом выполнена пульсирующей, в момент, когда пневмопробойник начинает движение с образованием скважины.

## Список литературы

1. Васильев С.Г. Подземное строительство неглубокого заложения. Львов: Вища школа. Изд-во при Львовском университете, 1980. – 48с.
2. Костылев А.Д., Гурков К.С., Смоляницкий Б.Н. Пневмопробойники и машины для забивания в грунт легких строительных элементов. Новосибирск: Наука, 1980. – 48с.
3. Руднев В.К. Копание грунтов землеройно-транспортными машинами активного действия. Харьков: Высшая школа, 1963. – 144 с.
4. Баловнев В. И. Дорожно-строительные машины с рабочими органами интенсифицирующего действия. М.: Машиностроение, 1981. – 223 с.
5. Николаев Ю.В. Исследование взаимодействия инструментов с массивом и выбор параметров самопередвигающихся гидropневматических грунтопроходчиков; - Дис. ... канд. техн. наук. – Караганда, 1974.

Одержано 16.08.10